

〈論文〉

中国の砂漠地域に自生するマメ科樹木の組織構造と材質特性

古川 郁夫*・大橋 元*

Anatomical Features and Characteristics of Wood Quality of Leguminous Woody Xerophytes Grown in China Deserts

Ikuo FURUKAWA * and Gen OHASHI *

Summary

The anatomical features of wood-quality of native leguminous species, planted in the arid region of northern China to control desertification and fix shifting sand-dunes, were investigated using light- and scanning electron-microscopy.

Samples were taken from eight-year-old and seventeen-year-old *Caragana korshinskii*, which had been planted under irrigating and non-irrigating conditions at the southeast margin of the Tengeli Desert located near Shapotou, Ning-xia Hui-zu zizhiqu in China. Non-irrigating means that, for the first three years, the seedlings were cultivated at a nursery station under irrigating conditions, then transplanted to desert land under non-irrigating conditions, where only natural precipitation of about 160 mm in average is available annually in the summer season. Fiber length, vessel-element length and the thickness of the fiber cell wall as well as the shape and the cell wall structure were all examined.

The water deficiency conditions strongly affected both the enlarging and the wall-thickening phases following cell division. The tip-portion of the wood fiber, which had been elongated by the manner of intrusive growth, became very thin and showed a distinct tapered- or necked-down form. In addition, the length of the fibers formed under non-irrigating conditions was almost half of the normal fiber length found under irrigating conditions. These results suggested that water stress had strongly suppressed the intrusive growth and decreased biomass production during the differentiating period of the wood fibers.

Regardless of irrigating conditions, the distinct tension-wood existed within the secondary xylem of the examined samples. Additional cell-wall layers like the gelatinous layer (G-like layer) were observed at the innermost portion of the secondary wall of wood fibers. The G-like layers have been classified into three types, namely unlignified type, partially lignified type and completely lignified type.

I 緒 言

乾燥地帯や砂漠地域に生育している耐乾燥性樹木は、砂漠化防止を始め、農耕地や水資源の保全、道路や鉄道など輸送幹線の保護などの役割を果たす環境資源としてだけでなく、その地に生活する

* 鳥取大学農学部生存環境科学講座；Faculty of Agriculture, Tottori University, Tottori 680-8533, Japan

人々にとって燃料や土木・建築用の資材として重要な資源である。ところが、これらの樹木の解剖学的特徴やその材質特性については、古川らの一連の報告(2,3,4,5,6)があるだけで、ほとんど未着手の状態にある。

そこで、本研究では、中国の砂漠地域に自生している乾燥に強い樹種で、しかも現在でも流動砂丘の固定や砂漠緑化のために広く用いられている2つの樹種、マメ科ムレスズメ属樺条(ニンチョウ)およびマメ科イワオウギ属花棒(ファーバン)を対象として、これらの二次木部の組織構造および材質的特性、ならびにこれらに及ぼす水分環境(灌漑)の影響について調べた。

なお、本研究の一部は第42回、第44回ならびに第45回日本木材学会大会において口頭発表したものである。

II 実験材料と方法

本研究には、中国の砂漠地域に自生している固有種のマメ科灌木である樺条(*Caragana korshinskii*)を主に供試した。なお、あて材の観察には、比較のために同じ地域に生育しているマメ科の灌木である花棒(*Hedysarum scoparium*)も用いた。樺条は、灌漑区産8年生のものと無灌漑区産17年生のものを各2本、現地に1991年8月30日に採取した。これらは、騰格里砂漠の東南縁(中国寧夏回族自治区シャパトウ)に植栽されていたものであり、この地域は年平均降水量160mm、年中季節風の強い(特に冬季と春先)ところであった。なお、無灌漑区産のものは、最初の3年間は灌漑条件下の苗圃で育てられた後、4年目から砂面固定用として天水条件下に移植されたものである。灌漑区産のものは、採取日まで苗圃において湛水灌漑下で生育していたものである。

供試木の幹部の二次木部より木口切片、柃目切片を切削し、光学顕微鏡あるいは走査型電子顕微鏡(SEM)で、各構成細胞の配列と木繊維細胞壁の特徴を調べた。

放射組織の型については、樺条を始めマメ科8樹種(この中には樺条との比較のために日本産のものも対照試料として調べた)の樹幹部から正確にミクロトームで切削した切片をサフラニンで染色してから、光学顕微鏡で調べた。

切片中における木部繊維の部位別の壁厚さの測定は、藤原(1)の提案している方法と原理的に同じ方法を用いた。また、木繊維の形状については、灌漑区産および無灌漑区産樺条の第7年輪部から取り出した小片中の繊維について調べた。

繊維長と道管要素長は、各年輪中央部から切削した0.1mm厚さの板目切片を解繊処理したうえで、解繊液を一時プレパラートにして万能投影器を用いて測定した。木繊維は50本、道管要素は30本測定した。

Ⅲ 結果と考察

1 構成細胞の種類と放射組織の型

(1) 構成細胞の種類

写真1に8年生（灌漑区産）および17年生（無灌漑区産、ただし最初の3年間は灌漑条件下で生育）の樺条の木口断面を示した。8年生のものは全成長期間を通して順調な肥大成長が見られたのに対して、17年生のものでは最初の3～4年間を除いて、肥大成長の急激な減少が観察された。

樺条の二次木部を構成していた細胞は、他のマメ科樹種と同じように、道管、軸方向柔細胞、木繊維、放射柔細胞の4種類であった。管孔の配列は半環孔で、周囲柔組織はよく発達しており、孔圏外道管は斜線状あるいは短接線状に配列していた。これらはいずれもマメ科樹種に共通する特徴であった。

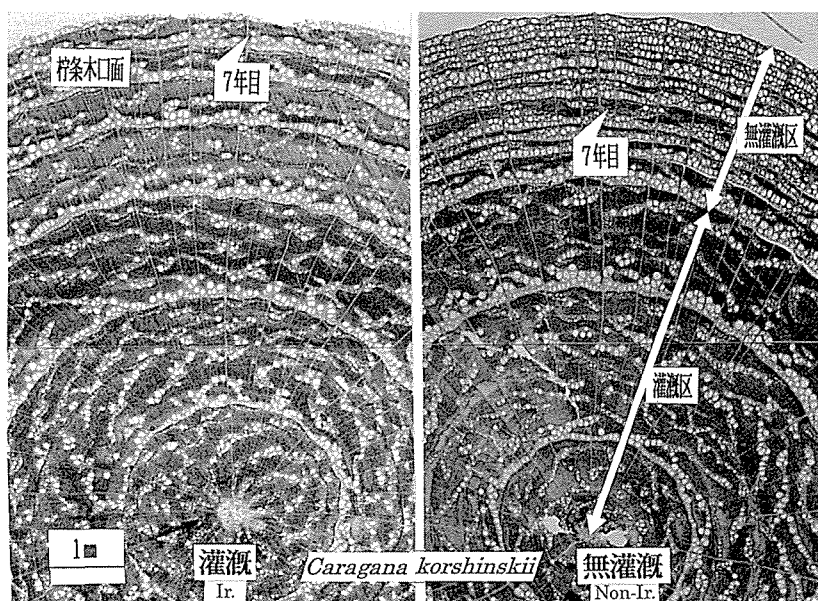


写真1 灌漑区産(左)および無灌漑区産(右)の樺条の木口断面写真

(2) 放射組織の型

図1には、樺条を始めマメ科8種の放射組織の半径方向における形態的変動を模式的に示した。樺条の放射組織の型は髄を含む第1年輪内で大きく変化した。すなわち、髄に最も近いところでは単列で直立細胞のみからなる pedomorphic 型を示し、それより外側（樹皮側）に向かって単列で直立細胞と平伏細胞や方形細胞からなる異性Ⅲ型、さらに多列で異性Ⅰ型、異性Ⅱa型へと、第1年輪内で変化していた。髄から2年輪目より外側の年輪内では多列で同性Ⅰ型に近い異性Ⅱb型を示した。放射組織はどの年輪においても異性型を示し、多くのマメ科樹種が同性であることと対比的であった(2)。

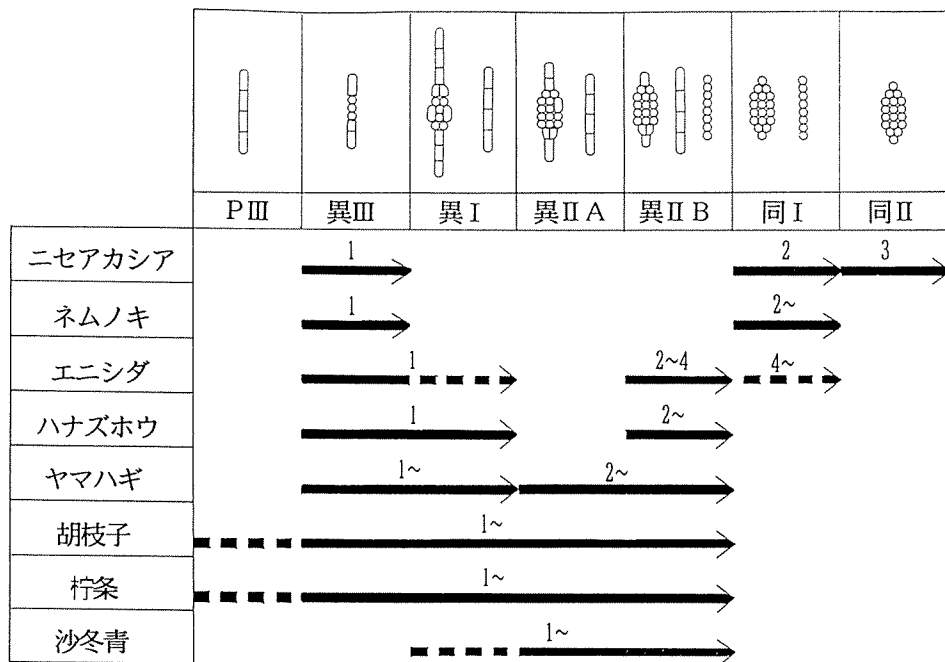


図1 檸条およびそのほかのマメ科8樹種における放射組織の型の水平変動

2 繊維長と道管要素長の水平変動

(1) 繊維長、道管要素長の水平変動に及ぼす灌漑の影響

図2には、灌漑区産および無灌漑区産檸条の樹幹内における繊維長および道管要素長の年輪間変動（経年変動）を示した。繊維長の変動パターンは、髄から3年（4年）までは灌漑区産の檸条も無灌漑区産の檸条も類似していたが、4年輪目より外側（樹皮側）では灌漑区産檸条の繊維長は年輪数とともに増加傾向を示したのに対して、無灌漑区産檸条のそれは明瞭な減少傾向を示した。なお髄から7年輪目は、灌漑区産も無灌漑区産もいずれも比較的年輪幅が広く、肥大成長の程度も似ていたため、灌漑の影響を繊維長で比較するには好都合と考えた。その結果、無灌漑区産の木繊維は灌漑区産のものに比べて明らかに短かった。なおこの場合、道管に隣接していない木繊維について比較した。他方、紡錘形始原細胞の長さを反映していると考えられている道管要素長はいずれの

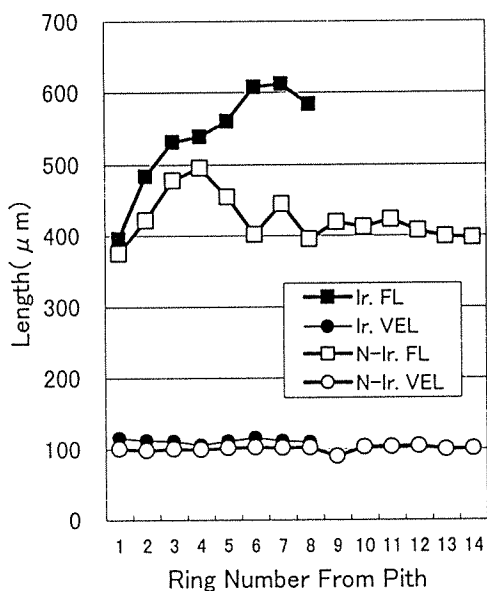


図2 灌漑区産および無灌漑区産檸条の木繊維長および道管要素長の水平変動

試料においても、髄からの年輪数とともに変化することなく、一定長を示し、その長さは両者ともほぼ同じであった。これらのことから、水分ストレスは始原細胞から分裂した後の木繊維の分化過程、とくに第1段階（細胞拡大期）とそれに続く第2段階（細胞壁肥厚期）に影響を及ぼしている可能性が強い。

(2) 木繊維の分化過程に及ぼす灌漑の影響

木繊維の分化過程（細胞拡大期と壁肥厚期）に何らかの影響を受けていれば、その影響は木繊維が割り込み成長をしている時、あるいはそれに続く壁の肥厚期に影響を受けると考えられ、もしそうであれば木繊維の形状と壁厚にその影響は現れるであろう。

A) 木繊維の形状変化

表1には、灌漑区産樟条の第7年輪部および無灌漑区産樟条の第7年輪部を構成する木繊維の形状別構成割合を示した。木繊維の形状は大別すると、長いもの、短いもの、くびれをもつものともたないものの、4種類があった。これらの構成割合は、灌漑区産の木繊維では、通常の紡錘形をした木繊維（長くてくびれない形状のもの）が90

表1 灌漑区産および無灌漑区産樟条の第7年輪部の木繊維の形状別割合（%）

繊維形態		灌漑区 (n=2501本)	無灌漑区 (n=3054本)
形状	長さ		
正常	長い	89%	56%
	短い	12	33
くびれ有り	長い	3	7
	短い	6	14

%と断然多く、短くて先端がくびれた木繊維は僅か10%程度であった。これに対して、無灌漑区産のものは通常の木繊維が50%程度とやや少なく、むしろ先端のくびれたものが約30%も存在し、極端に短い繊維も約20%あった。くびれた繊維の胴体部分の長さは道管要素の長さとはほぼ同じであった。これらのことから、分化段階の第1段階である木繊維の割り込み成長は水分ストレスの影響を強く受け、その結果、分裂後の繊維の伸長成長が抑制されたのであろう。

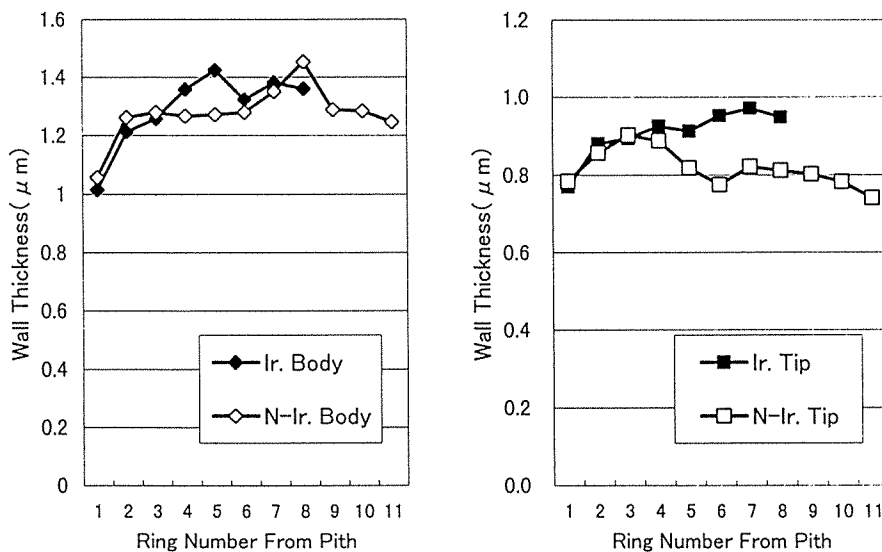


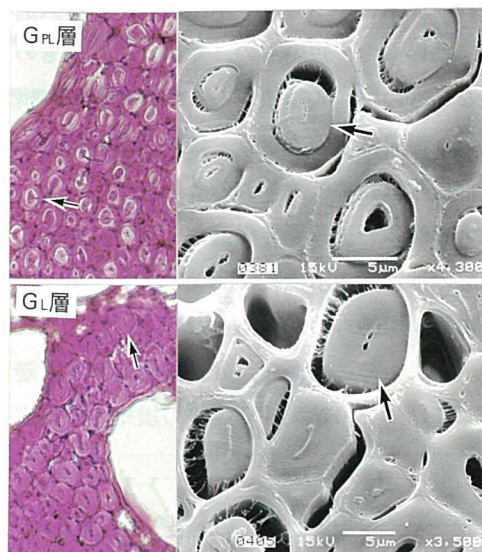
図3 灌漑区産 (Ir) および無灌漑区産 (N-Ir.) 樟条の第7年輪部における木繊維の先端部 (右図) と胴体部 (左図) の壁厚の水平変動

B) 木繊維壁厚の変化

図3には、灌漑区産および無灌漑区産樺条の木繊維の中央部（左図）と先端部（右図）の壁厚の水平変動を示した。繊維中央部の壁厚は灌漑区産のものも無灌漑区産のものもよく似た変動パターンを示した。一方、繊維先端部は髓から3年目までは灌漑区のものも無灌漑区のものも似たパターンを示したが、4年目以降、木繊維長の変化と同様に、灌漑区産のものは年輪数とともに増加パターンを示したが、無灌漑区産のものは減少パターンを示した。すなわち、水分ストレスは割り込み成長を抑制するだけでなく、割り込み成長に必要なバイオマス生産量も減少していたことが分かった。

3 木化あるいは部分的に木化したゼラチン（G）層

灌漑区産、無灌漑区産樺条のいずれにおいても、また樺条と花棒のいずれにおいても、二次木部には明瞭な引張りあて材が存在していた（写真2）。これは、多分生育期間中の強い季節風にさらされることによって生じたものであろう。これらのあて材部には二次壁（S層）とは異なり、フィブリン傾角の極めて小さいG層に似た壁層（G状層）がS層の内側に認められた。G状層を有する細胞の二次壁の厚さはG状層を持たないものより薄く、しかもこのG状層はフロログルシン反応で陽性を示したことから、木化していることが分かった。G状層の木化の仕方には3のパターン（全部木化、内層のみ木化、未木化）が認められた。写真2には、花棒で観察された部分木化したG状層（Gpl）と完全に木化したG状層（Gl）のSEM写真と光学顕微鏡写真のマッチング写真（矢印は同一細胞を示す）を示した。とくに、G状層の木口断面において、未木化の部分と木化した部分において、それらの収縮率のちがいが微細な段差として認められた。壁層中におけるリグニンの微視的分布ならびにリグニンのトポケミカル的な特性については、今後の課題である。



Lignified G-layer in *Hedysarum scoparium*

写真2 花棒の木繊維壁に存在していた部分木化Gpl層と完全木化Gl層のマッチング写真

いずれにしても、木繊維の分化過程の終盤における壁層中へのリグニン堆積過程においても水分ストレスは強い影響を及ぼしていた可能性があるが、その作用機作については今のところ全く不明である。しかしきわめて興味深い現象であるため、この点については今後さらに検討したい。

IV 結 論

中国内陸部の砂漠地域に自生していたマメ科の灌木、樺条と花棒について、灌漑区と無灌漑区で生育したものを供試して、その二次木部について調べたところ水分ストレスの影響と思われる幾つ

かの組織構造学的特徴が見い出された。これらの構造的特徴は材質特性にも強く影響しているものと思われた。

1) 放射組織は、その型が髓に近い1～2年輪内部で大きく変化したものの、それより外側の年輪内では終始異性型を示し、同性型を示すことはなかった。

2) 無灌漑条件は、木繊維の分化過程の全般にわたって強く抑制的に作用していることが分かった。すなわち、木繊維の先端部が極端に細り、繊維自体の長さが約半分になり、しかも先端部のくびれた部分では壁厚が非常に薄くなっていたことから、木繊維の割り込み成長や割り込み成長部の壁肥厚を強く抑制していたことが分かった。

3) 灌漑条件の有無にかかわらず、これらの樹種の二次木部内には明瞭な引張あて材が存在していた。あて材部の木繊維壁にはG層に類似した壁層（G状層）があり、しかもこの壁層は、未木化のものだけでなく、部分的に木化しているものやほぼ完全に木化しているものなど、通常のG層とは異なっていた。

謝 辞

本研究の一部は、文部省科学研究費海外学術研究（課題番号62041061）及び同国際学術研究大学間協力研究（課題番号01045020）のご援助、ならびに田辺アセアン財団のご支援によって実施したものである。また、放射組織の型については元鳥取大学学生（現鳥取県庁職員）の前野洋一氏に、また木繊維の壁厚については元鳥取大学学生（現兵庫県庁職員）の大橋正知氏に観察ならびに測定していただいた。ここに心から謝意を表します。

参考文献

- (1) 藤原 健 (1993), 広葉樹木部繊維の分化中における伸長成長と繊維形態(第2報), 木材学会誌, 39巻, 1219-1225
- (2) 古川郁夫・前野洋一 (1992), マメ科8樹種の放射組織の形態変動, 第42回日本木材学会大会研究発表要旨, p. 34
- (3) 古川郁夫・大橋 元 (1995), 耐乾性樹木の組織構造的特徴 (4), 第45回日本木材学会大会研究発表要旨集, p. 35
- (4) 加藤雅人・古川郁夫・作野友康・川田俊成 (1991), 中国の半乾燥地に生育するヤマハギの組織構造的特徴について, 広葉樹研究, 第6号, 195-203
- (5) 大橋 元・古川郁夫 (1993), 耐乾性樹木の組織構造と材質 (2), 日本木材学会中国・四国支部第5回研究発表会要旨集, 12-13
- (6) 大橋 元・古川郁夫 (1994), 耐乾性樹木の二次木部形成に及ぼす環境変化の影響 (3), 第44回日本木材学会大会研究発表要旨集, p. 148